

МИНЕРАЛЬНЫЕ СОЛИ ИЗ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫНДЫГ (РЕСПУБЛИКА АБХАЗИЯ, ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)

Потапов С.С.¹, Червяцова О.Я.², Паршина Н.В.¹, Васильев С.К.³

¹Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, s_almazov@74.ru

²ФГБУ Государственный заповедник «Шульган-Таш», д. Иргизлы

³Аварийно-технический центр госкорпорации «Росатом», г. Санкт-Петербург

Природный высокотермальный минеральный источник находится в селе Кындыг Очамчирского района недалеко от столицы Абхазии г. Сухум (рис. 1). Минерализованные горячие воды при излиянии из скважин на поверхность образуют карбонатные соли. Поскольку ранее мы занимались проблемами солеотложения в нефтепромысловом [Вотяков и др., 1995; Галеев и др., 1998; Потапов, 1993; Потапов, 1994] и теплоэнергетическом оборудовании [Потапов, 1998], а также минералообразованием из вскипающих растворов [Потапов и др., 1998], то этот феномен заинтересовал нас и на месторождении термальных вод Кындыг, куда мы, будучи в Республике Абхазия в августе 2017 г., и отправились.

Кындыг - это необыкновенный природный комплекс, состоящий из скважин с минеральной водой для питья и открытых минеральных источников для

принятия ванн, гидромассажа, целебных грязей. Это известное и любимое место не только отдыхающих, но и местных жителей. Температура воды в месте, где она вырывается из недр земли, составляет 110 °С. Из скважин по металлическим и пластиковым трубам и желобам вода стекает в бассейны, охлаждаясь до 40-45 °С (рис. 2). Все стекающие источники оборудованы лежаками и скамейками, на которых можно лежать и сидеть прямо под струей целебной воды. Оздоровительный гидромассаж и купание в бассейне благоприятно сказываются на организме человека. «Живая вода» гидротермального источника Кындыг даёт незабываемое чувство омоложения, прилив сил, исчезает бессонница. За счёт широкого спектра микроэлементов (кремния, йода, брома и др.) (табл. 1), несмотря на кратковременность гидропроцедур, быстро обеспечивается

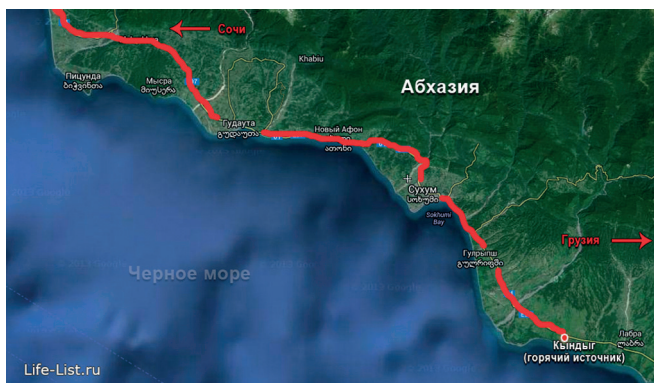


Рис. 1. Место расположения месторождения термальных вод Кындыг



Рис. 2. Термальный душ и бассейн



Рис. 3. Нативные белые и оранжевые минеральные корки

Таблица 1. Химический состав термальных вод месторождения Кындыг-1

Анионно-катионная часть, мг/дм ³												
pH	Eh, мВ	γ , мкСм/см	HCO_3^-	Cl ⁻	SO_4^{2-}	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
7.72	250	1972	79.3	693.8	25.5	н.о.	н.о.	н.о.	245.6	41.55	59.0	123.0
Микроэлементы, мкг/дм ³												
Li	Be	Al	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
92.5	0.010	1.40	0.352	3.64	0.076	1.37	3.68	130	0.38	0.184	0.67	2.66
As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	Sb	Ba	La	Ce	Pr
1.90	62.7	8595	0.135	0.018	<0.001	0.31	<0.008	0.014	208	0.155	0.022	0.013
Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ta	W
0.037	0.007	0.046	0.011	<0.003	0.005	0.002	0.009	0.001	0.008	0.002	<0.001	0.028
Tl	Pb	Bi	Th	U								
0.108	1.64	<0.004	0.009	0.046								

Примечание: н.о. – не определялось.

приток крови к тканям кожи, как лица, так и тела, омолаживая весь организм.

Гидрохимические исследования выполнены в лаборатории Института минералогии УрО РАН, г. Миасс. Водородный показатель pH, Eh и электропроводность изучались электрохимическим методом (Hanna HI 9125, pH-метр-милливольтметр pH-121, кондуктомер HI933000). Для определения HCO_3^- , Cl⁻, SO_4^{2-} применялись титриметрический, меркурометрический и турбидиметрический методы; Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии (прибор Perkin-Elmer 3110), микроэлементы определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7700х.

Из минерализованных (общая минерализация составляет 1267.75 мг/дм³) слабощелочных хлоридно-кальциево-натриевых вод месторождения Кындыг в трубах и на поверхности земли, куда изливается вода, образуются мощные отложения минеральных солей (рис. 3). Толщина корок составляет от первых см до 10 см и более. Корки от белого, жёлтого до оранжевого цвета. Корки имеют полосчатую, шестоватую и радиально-шестоватую текстуру. Белые корки более плотные, однородные, мелкозернистые. Жёлтые и оранжевые корки сложены менее плотными агрегатами расщеплённо-шестоватых минеральных супериндивидов (рис. 4). Шестики легко отделяются друг от друга, особенно, когда корки находятся во влажном состоянии – в водной среде.

Для диагностики минералов, слагающих коры, использовался дифрактометр ДРОН-2.0, CuK_α -излучение (Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, оператор Е.Д. Зенович). Для визуализации, изучения морфологии и элементного состава минеральных солей применялся сканирующий электронный микроскоп TESCAN Vega 3 с энергодисперсионным спектрометром X-ACT (Oxford Instruments) в Институте проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа (оператор И.И. Мусабилов).

В составе солевых отложений установлены минералы класса карбонатов: арагонит, кальцит, магнезит (табл. 2, 3); в некоторых образцах встречается кварц (см. табл. 3).

Результаты исследований на электронном микроскопе двух близких по внешнему виду образцов солей морфотипа Кындыг-2-2 (см. рис. 4) иллюстрирует рис. 5. Морфология и размеры индивидов схожи для обоих образцов (см. рис. 5а-в для первого образца, рис. 5г-е – для второго образца). Агрегаты представляют собой каркас из сноповидных стростков псевдогексагональных длинопризматических кристаллов с копьевидной вершинкой, часто расщепленных. Такая форма типична для арагонита и отражает морфологию двойников прорастания по плоскости (110). При больших увеличениях (рис. 5д, е) видно, что кристаллы имеют широкие борозды вдоль удлинения и многочисленные минеральные микросферолитовые обрастания на плоских гранях кристаллов арагонита.

Таблица 2. Рентгенограмма пробы К-2-2 солевых отложений из термальных вод месторождения Кындыг (1), эталонных арагонита CaCO_3 (2), кальцита CaCO_3 (3) и магнезита MgCO_3 (4)

Проба К-2-2 (1)			Арагонит (JCPDS*) (2)			Кальцит (JCPDS*) (3)			Магнезит (JCPDS*) (4)		
d, Å	I		d, Å	I	hkl	d, Å	I	hkl	d, Å	I	hkl
3.844	2		-	-	-	3.85478	16.50	10-2	-	-	-
3.394	87		3.39558	100	111	-	-	-	-	-	-
3.271	57		3.27275	57.40	021	-	-	-	-	-	-
3.025	32		-	-	-	3.03555	100	104	-	-	-
2.731	11		-	-	-	-	-	-	2.74089	100	104
2.701	29		2.70032	53.60	012	-	-	-	-	-	-
2.482	47		2.48438	29.20	102	2.49480	13.60	110	-	-	-
2.41	14		2.41029	15.70	031	-	-	-	-	-	-
2.37	23		2.37175	42.30	112	-	-	-	-	-	-
2.34	53		2.34137	29.40	130	-	-	-	-	-	-
2.276	5		-	-	-	2.28463	28	113	-	-	-
2.19	21		2.18939	14.60	211	-	-	-	-	-	-
2.105	55		2.10568	22.40	220	2.09443	17	202	2.10212	51.80	113
1.977	100		1.97688	77.30	221	-	-	-	-	-	-
1.903	7		-	-	-	1.91240	21.90	10-8	-	-	-
1.88	44		1.88174	34.10	041	1.87532	29.70	116	-	-	-
1.815	24		1.81428	32.60	132	-	-	-	-	-	-
1.743	10		1.74208	34.60	113	-	-	-	-	-	-
1.728	15		1.72481	15.70	023	-	-	-	-	-	-
1.699	4		-	-	-	-	-	-	1.69982	25.50	116
1.597	4		-	-	-	1.60409	11.20	21-2	-	-	-

*Joint Committee on Powder Diffraction Standards - Объединенный комитет по стандартам порошковой дифракции.

Таблица 3. Результаты гамма-спектрометрического анализа образцов солевых отложений

№ п/п	№ образца	Место отбора, № скважины	Вид образца и его минеральный состав (по данным рентгенофазового анализа)	Удельная активность ^{226}Ra , Бк/г
1	К-1-1	Кындыг-1	Белая солевая корка. Кальцит, арагонит	0.2±0.06
2	К-1-2	Кындыг-1	Оранжевая солевая корка. Арагонит, кальцит, кварц, магнезит.	1.3±0.2
3	К-2-1	Кындыг-2	Светло-серая солевая корка. Арагонит, кальцит, магнезит.	1.3±0.2
4	К-2-2	Кындыг-2	Светло-жёлтая солевая корка. Арагонит, кальцит, магнезит.	1.3±0.2
5	К-2-3	Кындыг-2	Оранжевая солевая корка. Арагонит, кальцит.	7.6±0.8

Для вод скважины Кындыг-1 обнаружено повышенное содержание стронция (8595 мкг/ dm^3), что в 47 раз выше кларка для подземных вод зоны гипергенеза [Шварцев, 1985]. Как известно, этот элемент выступает в качестве стабилизатора кристаллической решетки арагонита и способствует его кристаллизации. Согласно ЭДС-спектрометрии, арагонит содержит примеси стронция (до 1.24 мас. %) и железа (до 1.87 мас. %).

По результатам химических анализов, переведённых в оксидную форму, для карбонатных отложений и воды источника Кындыг-1 были вычислены молярные

соотношения между главными компонентами карбонатных минералов ($\text{CaO} + \text{CO}_2$) и металлами-примесями FeO и SrO (рис. 6). Для железа наблюдается более высокое значение в арагоните, чем в воде источника; а для стронция выявляется обратная закономерность. Такое распределение может объясняться тем, что железо концентрируется на кислородно-окислительном барьере и накапливается в кристаллах арагонита в виде механических микропримесей гидроксидов трехвалентного железа. Стронций же входит в кристаллическую решетку арагонита в виде изоморфной



Рис. 4. Макро-фото изученных образцов минеральных солей

примеси в незначительном количестве в условиях избытка «энергетически более выгодных» для построения структуры кальцита ионов кальция, поэтому его (стронция) соотношение в кальците снижается по сравнению с питающим раствором.

По данным Абхазского государственного центра экологического мониторинга (зам. директора АГЦЭМ О.В. Пустоварова), радиационный фон около бассейнов для принятия водных процедур, наполняемых из высокотемпературной скважины в селе Кындыг (около русла реки Чаша) составляет 0.23-0.24 мкЗв/час, что незначительно превышает естественные фоновые значения. Показатель удельной суммарной β -радиоактивности не соответствует нормативным требованиям.

Радиационный фон на расстоянии около 3 м от высокотемпературной скважины на территории пансионата «Эвкалиптовая роща» составляет 0.45-0.65 мкЗв/час, что превышает естественный радиационный фон на территории Республики Абхазия и не соответствует требованиям СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счёт природных источников ионизирующего излучения». Радиационный фон около накопительного бассейна, наполняемого из этой же высокотемпературной скважины, составляет 0.23-0.25 мкЗв/час, что незначительно превышает естественные фоновые значения.

Используемая методика определения удельной суммарной β -радиоактивности заключается в сум-

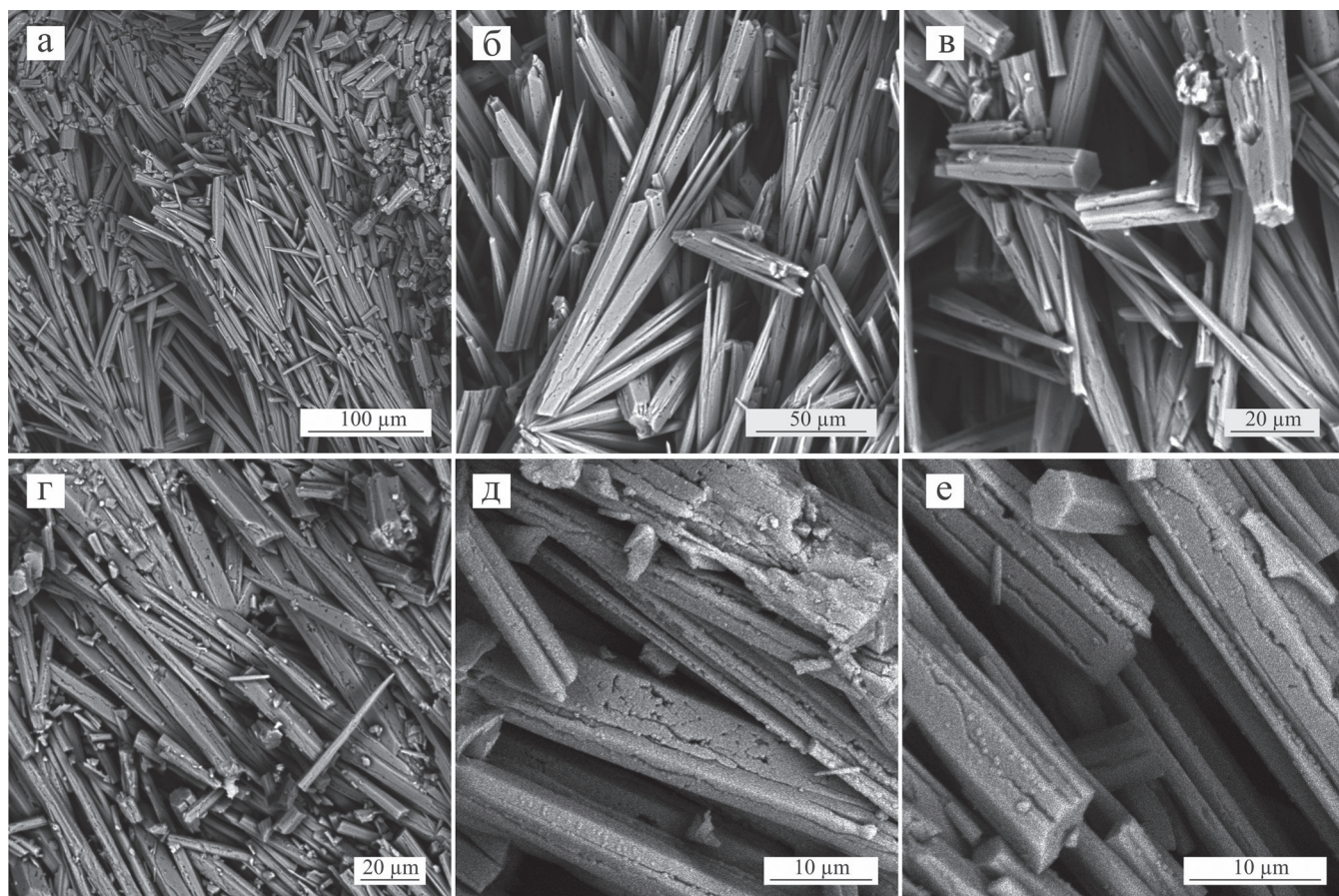


Рис. 5. СЭМ фото минеральных солей

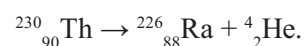
марном определении всех содержащихся в воде радионуклидов (в т.ч. радона ^{222}Rn , для которого уровень вмешательства в питьевой воде должен быть не более 60 Бк/кг в соответствии с СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения»).

Мы предприняли попытку изучения радиоактивности образцов минеральных солей с помощью низкофонового гамма-спектрометра с германиевым детектором. В образцах обнаружена повышенная концентрация радия-226 (^{226}Ra); удельные активности для исследованных образцов приведены в табл. 3. Искусственные радионуклиды не обнаружены. Полученные значения ниже уровня, относящегося к радиоактивным отходам (РАО) (10 Бк/г), при этом удельная активность образца К-2-3 близка к этому значению (см. табл. 3, рис. 4).

Как известно, радий-226 - радиоактивный нуклид химического элемента радия с атомным номером 88 и массовым числом 226. Сообщение об открытии нового радиоактивного элемента «радия» в урановой смолке (позже выяснилось, что это был именно радий-226) было сделано 26 декабря 1898 года П. Кюри и М. Склодовской-Кюри совместно с Г. Бемоном [Вдовенко, Дубасов, 1973]. Радий-226 принадлежит к радиоактивному семейству урана-238 (так называемый ряд урана-радия).

Активность одного грамма этого нуклида составляет приблизительно 36.577 ГБк. Значение внесистемной единицы измерения активности кюри ($3.7 \cdot 10^{10}$ Бк) изначально было определено как радиоактивность эманации радия (то есть радона-222), находящейся в радиоактивном равновесии с 1 г ^{226}Ra [Мухин, 1993].

Радий-226 непосредственно образуется в результате α -распада нуклида ^{230}Th :



Радий-226 претерпевает α -распад; в результате распада образуется нуклид ^{226}Rn , известный как радиоактивный газ радон или эманация радия:



Следовательно, оздоровительный эффект лечебных термальных ванн месторождения Кындыг обусловлен наличием радиоактивного радия-226 в водах (и в образующихся из них минеральных солях), распад которого приводит к образованию радиоактивного газа радона, который благотворно сказывается на организме человека.

Проведённые нами в условиях лаборатории измерения γ -излучения с поверхности образцов солей с помощью радиометра СРП-68-01 дают значения на уровне природного фона (табл. 4).

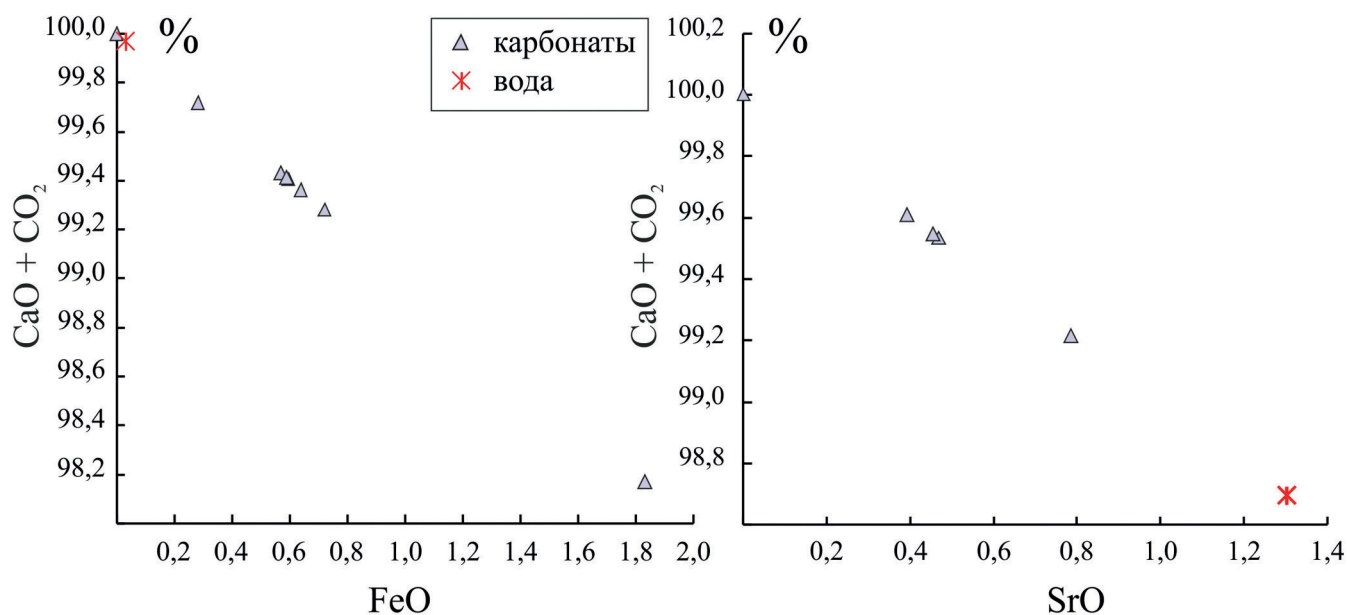


Рис. 6. Молярные соотношения между главными компонентами карбонатных минералов ($\text{CaO} + \text{CO}_2$) и металлами-примесями FeO и SrO

Таблица 4. Результаты измерения γ -излучения (мкР/час) с поверхности образцов минеральных солей, отложившихся из термальных вод месторождения Кындыг

№ п/п	№ образца	Точка отбора	Описание	Измерение гамма-излучения			
				1	2	3	Среднее
1	К-1-1	Кындыг-1	Белая солевая корка	12	17	18	16
2	К-1-1a	Кындыг-1	Крупная белая солевая корка	18	19	18	18
3	К-1-2	Кындыг-1	Оранжевая солевая корка	18	19	17	18
4	К-2-1	Кындыг-2	Светло-серая солевая корка	17	17	18	17
5	К-2-2	Кындыг-2	Светло-жёлтая солевая корка	19	18	18	18
6	К-2-3	Кындыг-2	Оранжевая солевая корка	19	18	18	18
7	К-2-4	Кындыг-2	Шестоватая плоская толстая корка серого кальцита	19	18	15	17

Таким образом, невысокие значения γ -излучения термальных вод и образующихся из них минеральных солей, близкие к фоновым, наличие радиоактивного радия-226 в водах (и в образующихся из них минеральных солях), распад которого приводит к образованию радиоактивного газа радона, который оказывает благотворное влияние на организм человека и обуславливает оздоровительный эффект лечебных термальных вод месторождения Кындыг.

Авторы благодарны К.А. Филипповой, Л.Г. Удачной, Г.Ф. Лонцаковой, М.Н. Малярёнок, Н.И. Вализер за гидрохимические исследования; Е.Д. Зенович за оперативную съёмку рентгенограмм; И.И. Мусабирову за работу на сканирующем электронном микроскопе; Ю.С. Ляхницкому и В.А. Муфтахову за

способствование в изучении радиоактивности образцов; а также сотруднику комплекса Новоафонской пещеры В.В. Мархолия за организацию поездки на месторождение Кындыг и директору Института экологии Академии наук Абхазии Р.С. Дбару за информационную поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

- Вдовенко В.М., Дубасов Ю.В. Аналитическая химия радия. Л.: Наука, 1973. 190 с.
- Вотяков С.Л., Потапов С.С., Борисов Д.Р., Краснобаев А.А. Спектроскопические свойства техногенных карбонатов из нефтепромыслового оборудования // Уральский минералогический сборник. № 5. Миасс: ИМин УрО РАН, 1995. С. 66-81.

3. Галеев Р.Г., Дияшев Р.Н., Саттарова Ф.М., Потапов С.С. Исследование минерального состава и причин отложений солей в нефтепромысловом оборудовании // Нефтяное хозяйство. 1998. № 5. С. 41-45.
4. Мухин К.Н. Свойства нуклонов, ядер и радиоактивных излучений // Экспериментальная ядерная физика. Кн. 1. Физика атомного ядра. 5-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1993. С. 173-174.
5. Потапов С.С. Минералогия солевых отложений в скважинах и нефтепромысловом оборудовании месторождений Западной Сибири // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. Екатеринбург: УрО РАН, 1993. 20 с.
6. Потапов С.С. Солевые отложения в нефтепромысловом оборудовании: обзор направлений исследований, преимущества минералогического подхода // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. Екатеринбург: УГГГА, 1994. № 9-10. С. 71-77.
7. Потапов С.С., Вотяков С.Л., Борисов Д.Р. Минералогия и спектроскопия техногенных и антропогенных (бытовых) накипей // Уральский минералогический сборник. № 8. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. С. 151-170.
8. Потапов С.С. Минеральный состав котельных накипей и отложений в системе теплоснабжения дома отдыха «Тургояк» // Тез. докл. III регионального совещания «Минералогия Урала». Т. II. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. С. 81-83.
9. Шварцев С.Л. Геохимия подземных вод зоны гипергенеза. Геохимия природных вод // Труды Второго Международного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 108-113.